



**SVERIGES  
LANTBRUKSUNIVERSITET**

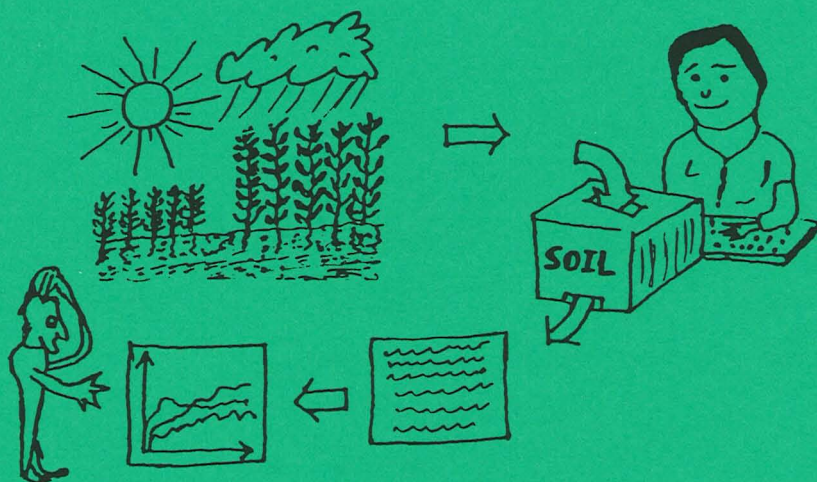
SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET  
Institutionen för markvetenskap  
Försöksavd för hydroteknik  
750 07 UPPSALA 7

BIBLIOTEKET

# **SIMULERING AV VATTENBALANS FÖR ENERGISKOG PÅ EN TORVMARK**

Simulation of water balance for a short-rotation  
forest on a peat soil

**Farid Nabieian**



**Examensarbete**  
**Handledare: Gunn Persson**

**Institutionen för markvetenskap**  
**Avdelningen för lantbrukets hydroteknik**

**Swedish University of Agricultural Sciences**  
**Department of Soil Sciences**  
**Division of Agricultural Hydrotechnics**

**Avdelningsmeddelande 95:8**  
**Communications**

**Uppsala 1995**

ISSN 0282-6569

ISRN SLU-HY-AVDM- -95/8- -SE



Denna serie meddelanden utges av Avdelningen för lantbrukets hydroteknik, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Serien innehåller sådana forsknings- och försöksredogörelser samt andra uppsatser som bedöms vara av i första hand internt intresse. Uppsatser lämpade för en mer allmän spridning publiceras bl a i avdelningens rapportserie. Tidigare nummer i meddelandeserien kan i mån av tillgång levereras från avdelningen.

This series of Communications is produced by the Division of Agricultural Hydrotechnics, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. The series consists of reports on research and field trials and of other articles considered to be of interest mainly within the department. Articles of more general interest are published in, for example, the department's Report series. Earlier issues in the Communications series can be obtained from the Division of Agricultural Hydrotechnics (subject to availability).

---

Distribution:

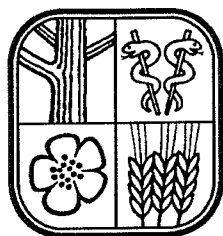
Sveriges Lantbruksuniversitet  
Institutionen för markvetenskap  
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik  
Box 7014  
750 07 UPPSALA

Tel. 018-67 11 85, 67 11 86

Swedish University of Agricultural Sciences  
Department of Soil Sciences  
Division of Agricultural Hydrotechnics  
P.O. Box 7014  
S-750 07 UPPSALA, SWEDEN

Tel. +46-(18) 67 11 85, +46-(18) 67 11 86

---



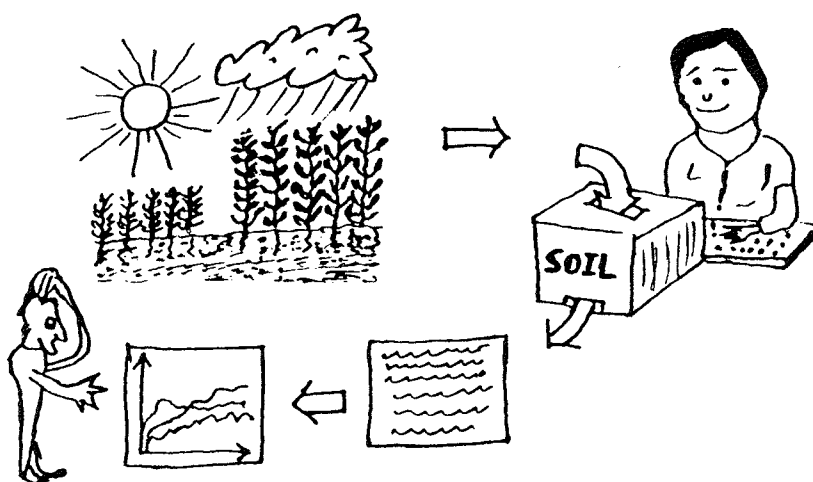
SVERIGES  
LANTBRUKSUNIVERSITET

SLU  
BIBLIOTEKET

# SIMULERING AV VATTENBALANS FÖR ENERGISKOG PÅ EN TORVMARK

Simulation of water balance for a short-rotation  
forest on a peat soil

Farid Nabieian



Examensarbete  
Handledare: Gunn Persson

Institutionen för markvetenskap  
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik

Swedish University of Agricultural Sciences  
Department of Soil Sciences  
Division of Agricultural Hydrotechnics

Avdelningsmeddelande 95:8  
Communications

Uppsala 1995

ISSN 0282-6569

ISRN SLU-HY-AVDM- -95/8- -SE



<b>INNEHÅLL</b>	<b>SID</b>
<b>INLEDNING</b>	5
<b>BAKGRUND</b>	6
<b>OMRÅDESBESKRIVNING</b>	6
<b>MODELLBESKRIVNING</b>	8
Beräkning av total avdunstning	9
Beräkning av snö	10
Beräkning av avrinning	10
<b>KLIMATDATA</b>	12
<b>PARAMETRISERING</b>	13
<b>RESULTAT</b>	15
Vattenbalansberäkning	16
Snödjup	21
Marktemperatur	21
Markvattenhalt	21
<b>DISKUSSION</b>	22
<b>SAMMANFATTNING</b>	23
<b>SUMMARY</b>	24
<b>REFERENSER</b>	25



## INLEDNING

Under de senaste 40-50 åren har snabba förändringar skett inom jordbruket i Sverige. Livsmedelsproduktionen har effektiviserats med hjälp av ny teknik och därmed har produktiviteten ökat kraftigt. Under samma tid har inte konsumtionen stigit lika mycket och därmed uppkom överskott på spannmål i landet på 70-talet. Samtidigt sjönk världsmarknadspriserna och detta orsakade ett stort problem för svenska jordbrukare som inte kunde sälja sina produkter till priser som täckte kostnaderna för produktionen. För att reducera detta överskott på spannmål infördes trädes- och omställningsprogram 1987 respektive 1990 som innebar att viss jordbruksareal skulle överföras till annan produktion (Gesslein, 1990).

I en sådan situation frågades det efter alternativa användningsområden för jordbruksmarken. Ett alternativ vid omställning av produktionen har varit beskogning. Granplantering innebär dock ekonomiska problem i samband med en eventuell återuppodling och återbrukning av arealen. Ett annat intressant alternativ är energiskog, främst pilarter (*Salix*) vilka befunnits vara mycket konkurrenskraftiga tack vare sin långa växtperiod och sitt effektiva näringsutnyttjande. De ger hög produktion av biomassa för förbränning. Växtfysiologisk forskning har visat att själva fotosyntesprocessen i energiskog inte är effektivare än i andra växtbestånd, men *Salix* har förmåga dels att snabbt utveckla en stor bladyta, dels att prioritera skotttillväxt framför rotttillväxt. I en etablerad energiskog är bladyteindex ca sex, d v s bladytan är sex gånger större än markytan den täcker. Bladen kan effektivt använda solenergin för att binda koldioxid och bilda socker, stärkelse och sedan cellulosa och lignin m. m. Själva odlingen av *Salix* påverkar miljön på olika sätt. Framförallt har *Salix* stor förmåga att tack vare sitt omfattande rotsystem ta upp näring ur marken, vilket minskar risken för näringsläckage. Det är i detta sammanhang intressant att studera de hydrologiska konsekvenserna, framförallt de förändringar som inträffar i marken och de som ger ändrat tillflöde till omgivande vattendrag.

En omfattande undersökning gällande energiskog har gjorts i samband med projektet "Hydrologiska konsekvenser av energiskogsodling" (Persson, 1992). Projektets syfte har bl.a. varit att belysa hur vattenbalansen förändras för energiskogsodlingar i skilda regioner. Torvmarker ansågs tidigare vara de mest intressanta arealerna för odling av energiskog eftersom de utgör en outnyttjad markreserv. De hydrologiska studierna inriktades därför på en högmosse i Västmanland och på några områden med organogena jordar i Kronobergs län. Etablering av energiskog lyckades aldrig på dessa undersökningsområden. De viktigaste orsakerna till detta var odlingstekniska svårigheter framförallt med ogräs, men också frostskador, betesskador och framkomlighetsproblem för jordbruksmaskiner. Som en konsekvens av detta beslutades att de hydrologiska studierna av energiskog på torvmark skulle avbrytas och istället förläggas till redan etablerade bestånd på traditionell jordbruksmark.

De resultat som Persson erhållit för energiskog på jordbruksmark visar att tillgång på vatten är viktig och att skötselåtgärder för en effektiv vattenhushållning tillhör de viktigaste åtgärderna om en hög produktion skall uppnås. I föreliggande studie har simuleringar med en matematisk modell, SOIL (Jansson, 1991), gjorts för att försöka beskriva hur vattenbalansen förändras vid introduktion av energiskog på torvmark. Som underlag för denna undersökning har använts material som framtagits och bearbetats inom projektet "Hydrologiska konsekvenser av energiskogsodling" (Grip & Persson, 1982; Persson & Lindroth, 1994). Denna studie inriktas på ett område med fuktig torvmark, belägen i Kronobergs län och där mätningar av avrinning och grundvattenstånd har gjorts. Området var planterat med energiskog men svårigheter att få skogen att etablera sig uppstod. Under mätperioden bestod



området mest av ogräs. Syftet med uppsatsen är att belysa hur hydrologin i det undersökta avrinningsområdet skulle ha förändrats om en högproduktiv energiskog hade etablerats.

## BAKGRUND

Sedan odling började i Sverige cirka 4000 år f Kr har arealen åker, äng och bete ökat. Ökningen har skett på skogens bekostnad. Det har dock förekommit perioder då jordbruksarealen minskat och återgått till skog. Så skedde t.ex. i samband med den så kallade medeltida agrarkrisen vid 1300-talets mitt. Orsaken till denna tillbakagång för jordbruket torde bl a ha varit digerdöden, försämrade klimatförhållanden och näringsutarmade jordar. 1900-talets arealminskning beror i stället på teknisk utveckling och utomordentligt snabbt stigande skördenivåer. Trots att befolkningen och konsumtionen ökat har jordbrukets arealbehov minskat under de senaste årtiondena (Kumm, 1989).

Den uppodlade arealen är idag ca 2,8 miljoner hektar och minskar med drygt 10 000 hektar per år (Gesslein, 1990). Under ett halvsekel har 1,5 miljoner hektar åkermark och naturlig betesmark tagits ur jordbruksproduktionen i Sverige (Mattson, 1985). En stor del av denna areal är idag högproduktiv skogsmark med stor betydelse för industrins virkesförsörjning. Hur stor areal som ska överföras till annan produktion än den vanliga jordbruksproduktionen är osäkert. Denna osäkerhet beror på en rad olika faktorer, bl a:

- \* Framtidens jordbrukspolitik i ett kortsiktigt och ett långsiktigt perspektiv.
- \* Hur mycket vi vill slå vakt om och är villiga att betala för det "öppna" landskapet.
- \* Vad som händer i omvärlden; EU, USA, ASIEN, m fl.
- \* Den globala livsmedelssituationen samt energipriserna.

Möjligheten att använda delar av åkerarealen för annat än livsmedelsproduktion har länge diskuterats. Energiskog är ett bra alternativ om man kan lösa problemen med att få energiskogsodlingen lönsam i framtiden (Widén & Ingemansson, 1986; Kumm, 1989). På längre sikt, fram till år 2020, kan mellan 10 och 15 procent av nuvarande åkerareal, d.v.s. 300 000 - 400 000 hektar, vara planterad med energiskog. Detta motsvarar i energikvantiteter 18 - 24 TWh, om 100 000 hektar antas motsvara 6 TWh (Gesslein, 1990). En förändring av markanvändningen på en så stor areal gör det mycket viktigt att förstå effekterna kvantitativt för olika regioner i Sverige. Hydrologin och vattenresurserna är i detta sammanhang av centralt intresse.

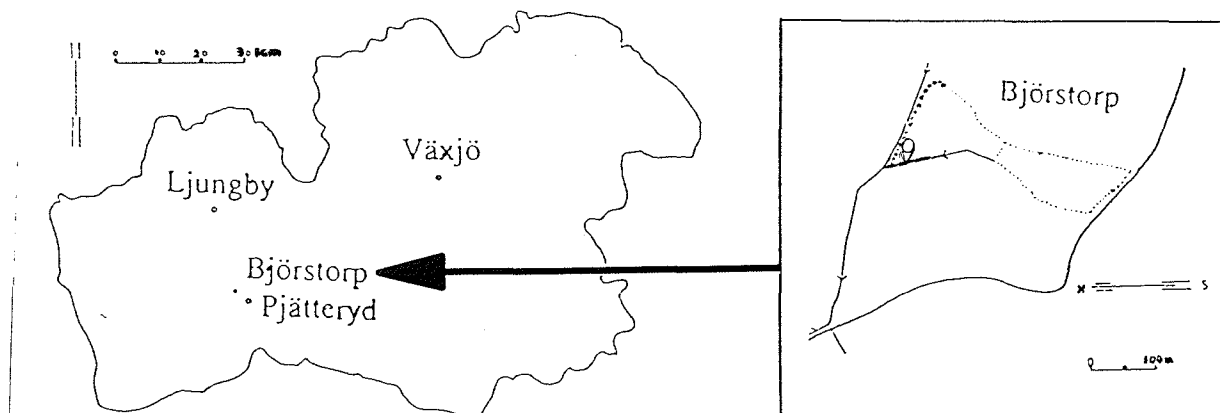
## OMRÅDESBESKRIVNING

Det studerade området, Björstorp, ligger vid kanten av Vissle myr i östra delen av Hamneda socken, ca 20 km söder om Ljungby i Kronobergs län (figur 1). Björstorp (lat 56°4', long 14°02') ligger 140 m.ö.h med en årlig nederbörd av ca 840 mm och årsmedeltemperaturen ligger på +6,5°C (Grip, 1980).

För avrinningsstudien valdes ett avrinningsområde om ca 4,1 ha, där odlingsytan var ca 2,3 ha och bestod av nedlagd jordbruksmark på organogen jord. Marken var i stort sett plan och bestod av mulljord med ett pH-värde mellan 4,5 och 4,8. Den studerade odlingsjorden hade



låg materialvolym och således stor porvolym (tabell 1). Luftvolymen vid dräneringsjämvikt var låg, vilket kan hämma rotutvecklingen (Persson, 1985).



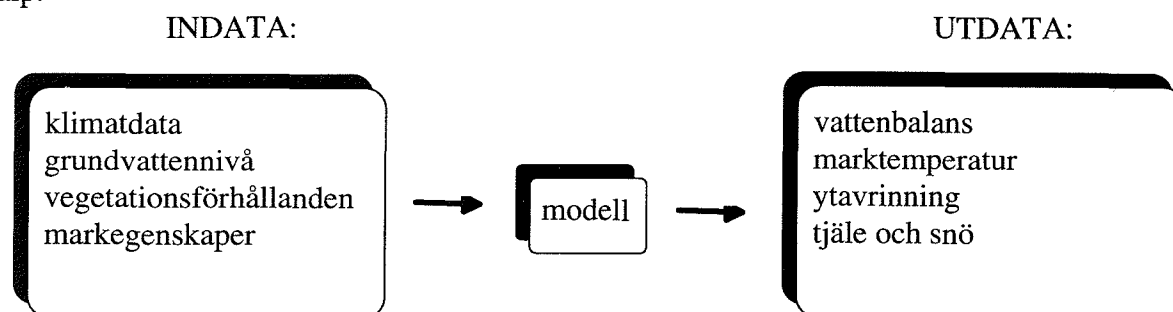
**Figur 1.** Karta över Kronobergs län och odlingsområdet Björstorp (Q = vattenföringsstation).  
**Figure 1.** The county of Kronoberg with the studied area Björstorp (Q = runoff station).

**Tabell 1.** Materialvolym, porvolym, torr skrymdensitet, kompaktdensitet och mättad hydraulisk konduktivitet för profilen 0-60 cm (efter Persson, 1985)

**Table 1.** Solids volume, pore volume, dry bulk density, particle density and saturated hydraulic conductivity for the profile 0-60 cm (after Persson, 1985)

Djup (cm)	Material- volym (%)	Porvolym (%)	Torr skrym- densitet (g/cm <sup>3</sup> )	Kompakt- densitet (g/cm <sup>3</sup> )	Mättad konduk- tivitet (10 <sup>-6</sup> m/s)
0-10	32,6	67,4	0,56	1,72	5
10-20	27,0	73,0	0,39	1,45	34
20-30	12,2	87,8	0,16	1,38	58
30-40	10,6	89,4	0,14	1,36	31
40-50	10,7	89,3	0,14	1,36	18
50-60	12,8	87,2	0,16	1,28	10

För att inledningsvis visa hur föreliggande studie gjorts och för att belysa användningen av SOIL-modellen torde det vara lämpligt att ta den schematiska beskrivningen i figur 2 till hjälp.



**Figur 2.** Indata till och utdata från modellen.

**Figure 2.** Input to and output from the model.

## MODELLBESKRIVNING

Till hjälp för att beräkna vattenbalansen används den matematiska simuleringsmodellen SOIL. Modellen är utförligt redovisad av Jansson (1991) och en manual beskriver också hur modellen kan användas (Jansson, 1994). SOIL-modellens struktur utgår ifrån att marken delas upp i ett antal skikt som behandlas separat för vatten och värme. Två kopplade partiella differentialekvationer beskriver vatten- och värmeflöden i en markprofil. Ekvationerna löses med en numerisk metod där derivatorna med avseende på djup och tid approximeras med små differenser. Ekvationen för vattenflöden kan skrivas :

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} (k_w(\theta) \left[ \frac{\partial \Psi}{\partial z} + 1 \right]) - S(t) \quad (1)$$

där:

$\theta$	vattenhalten i volymprocent
$\Psi$	vattentension
$t$	tiden
$z$	djupet
$S(t)$	en sänktterm som representerar upptag till växten och dränering till vattendrag eller dräneringsledning

Två markfysikaliska samband måste vara kända för att denna ekvation ska få en lösning, nämligen PF-kurvan,  $\Psi = f(\theta)$ , och den mättade och omättade koduktiviteten,  $k_w = f(\theta)$  respektive  $k_w = f(\Psi)$ .

Värmeflöden i marken beräknas i SOIL-modellen enligt Fouriers lag:

$$q_h = -k_h (\partial T / \partial Z) + C_w T q_w \quad (2)$$

där:

$h$	står för värme
$w$	står för vatten
$k_h$	värmeledning (konduktivitet)
$q_h$	värmeflödet
$C$	värmekapacitet för vatten
$T$	temperaturen
$Z$	djupet

Värmeflödet styrs av den termiska konduktiviteten  $k_h$  ( $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ ) och temperaturgradienter. Torv har en låg termisk konduktivitet som beror mycket på den fiberartade strukturen och den låga densiteten (Brown & Williams, 1972 ; Pavlova, 1970). En låg termisk konduktivitet för med sig ett högre termiskt motstånd, vilket leder till en hög temperatur under dagtid på markytan och betydligt lägre temperatur i de undre skikten, eftersom värmeflödet har en liten förmåga att jämna ut temperaturgradienterna. Värmekapaciteten hos torvjordar är i allmänhet högre än hos en väl-dränerad mineraljord, men däremot har den både lägre termisk konduktivitet och lägre termisk diffusivitet. När en mättad torvjord fryser minskar värmekapaciteten samtidigt som den termiska konduktiviteten ökar och därefter ökar också den termiska diffusiviteten (Moore, 1987).

## Beräkning av total avdunstning

Den totala avdunstningen är summan av avdunstning från tre olika typer av ytor: Markytor och våta respektive torra bladytor. För att bestämma avdunstningen från de olika ytorna används en kombinationsformel som kallas Penman-Monteiths ekvation (Monteith, 1965). Ekvationen är framtagen utifrån två viktiga förutsättningar:

1. Flödet av vattenångor och värme från en punkt till en annan är proportionell mot skillnaden i vattenångtryck och temperatur mellan punkterna.
2. Att det finns en balans mellan in- och utflöden av energi till den betraktade ytan. Balansen avspeglas i ytans temperatur som blir kallare eller varmare beroende på avdunstningens storlek i förhållande till den strålningsenergi som är tillgänglig.

$$LE = (\Delta R_{NT} + \rho c_p (e_s - e) / r_a) (\Delta + \gamma (1 + (r_s / r_a)))^{-1} \quad (3)$$

där:

LE	den energi som åtgår vid avdunstningshastigheten E
L	den latent energi som åtgår vid fasomvandlingen från vätska till gas för vatten
$\Delta$	förändringen i mättnadsångtryck per gradtemperaturändring
$R_{NT}$	tillgänglig energi som beräknats från strålningsbalansen, dvs nettot av såväl den kortvågiga som den långvågiga strålningen
$\rho$	densiteten för luft (1,29 kg/m <sup>3</sup> vid 1,013 bar och 0°C)
$c_p$	värmekapacitiviteten för luft (1 KJ/Kg °C 1,013 bar och 0°C)
$e_s$	mättnadsångtrycket för luften vid aktuell temperatur
$e$	aktuellt ångtryck
$r_s$	ytresistansen
$r_a$	den aerodynamiska resistansen
$\gamma$	psykrometerkonstanten (66 Pa °C <sup>-1</sup> ), som uttrycker förhållandet mellan luftens förmåga att lagra sensibel energi (beror på temperatur) och förmåga att lagra latent energi (beror på vattenångtryck)

De viktigaste parametrar som ingår i formeln är de som beskriver vegetationstäckan. Parametrarna visar skillnader mellan olika bestånd och ger bladytans storlek och värde på ytresistansen. Ytresistansen ( $r_s$ ) för en växt beror av öppningsgraden hos varje enskild klyvöppning och beräknas i modellen enligt ekvationerna:

$$r_s = 1 / (g_s \cdot A_{li}) \quad (4)$$

$$g_s = R / (R + R_0) \cdot g_m / (1 + \delta_e / a) \quad (5)$$

där:

$g_s$	konduktans
$A_{li}$	bladyteindex
$R$	globalstrålning
$R_0, g_m, a$	parametrar
$\delta_e$	ångtrycksdeficit

Den andra parametern är den aerodynamiska resistansen som beror av beståndets form samt vindhastigheten. Med beståndets form menas egenskaper som gäller höjden och jämnheten. Ett jämnt bestånd ger en högre aerodynamisk resistans än ett ojämnt bestånd som skapar turbulens. Den aerodynamiska resistansen ( $r_a$ ) för transpiration från bladtytor beräknas från vindhastigheten och ytans skrovlighet enligt ekvationen:

$$r_a = \ln^2 ((h-d)/z_0) / k^2 u \quad (6)$$

där:

k	von Kármáns konstant (0.41)
u	vindhastigheten på referensnivån h
d	nollplansförskjutningen
$z_0$	skrovligheten hos ytan

Ekvationen visar att den aerodynamiska resistansen är omvänt proportionell mot vindhastigheten. Detta innebär att om vindhastigheten är stor kan den aerodynamiska resistansen bli mycket liten vilket leder till att endast den första termen i Penman-Monteiths ekvation (som innehåller strålningen) kommer att ha någon effekt på avdunstningen.

### Beräkning av snö

Snö fungerar som ett isoleringsmaterial mellan marken och atmosfären och styr värmebalansen på så sätt att marken behåller värmen under vintern. I SOIL-modellen betraktas snö både som vattenmagasin och som ett värmedämpande medium som påverkar värmeflödet i marken (Jansson, 1991). Snön betraktas vara en homogen substans bestående av fruset och ofruset vatten i vissa proportioner och beräknas som dagliga värden. Den fundamentala delen av modellen om snö handlar om smältning och frysning. Funktionerna kombineras därför med två separata faktorer, temperaturen som påverkar smältningen och frysningen som är omvänt proportionell mot snödjupet (Jansson, 1991).

### Beräkning av avrinning

Avrinningen från en markprofil kan beräknas på flera olika sätt beroende på vilken information man har om marken och vilka geologiska dräneringsförhållanden som råder på platsen. En stor förenkling, som är gjord, är att modellen inte tar hänsyn till horisontella skillnader i vattenhalter och vattenflöden.

Vattnets vertikala fördelning beskrivs i detalj genom att den partiella differentialekvationen löses med avseende på markdjup och tid. Ett horisontellt vattenflöde beräknas endast som ett netto i modellen. Ett flöde till ett dike betraktas därför i ekvationen som en sänkterm på samma sätt som växtrötternas effekt. Skillnaden är att sänktermen för dränering endast är aktuell i den mättade zonen av marken medan sänktermen för vattenupptagning via rötter är aktuell för den omättade zonen.

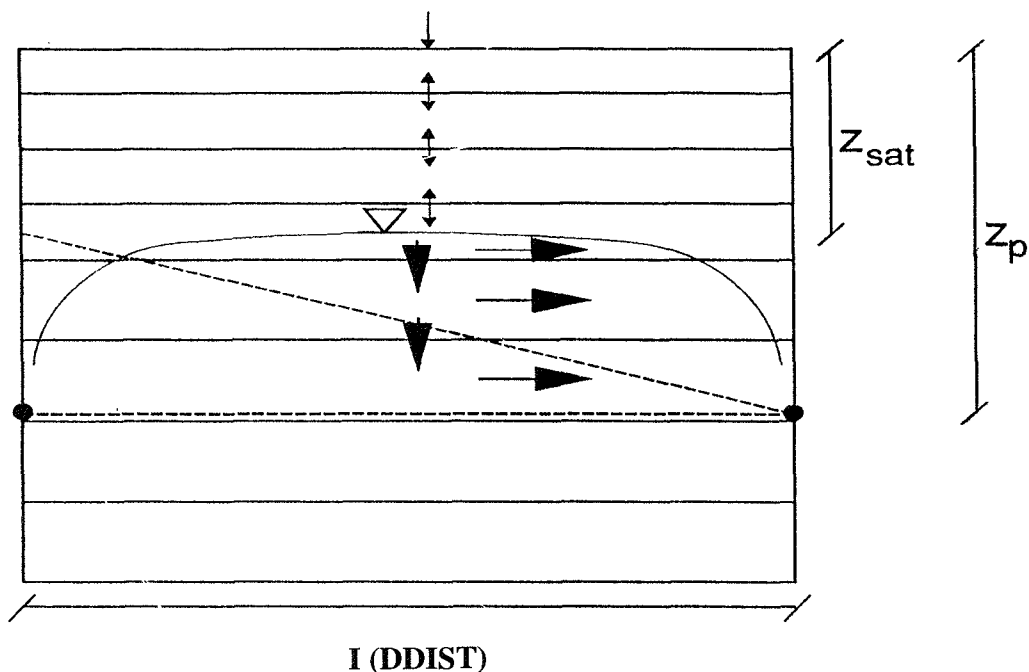


Flödet från ett vattenmättat skikt med mättad hydraulisk konduktivitet  $k_s$  till en dräneringsledning eller dike på nivån  $z_p$  beräknas som:

$$q_{wp} = k_s \cdot a_r \cdot \left[ \frac{(z_{sat} - z_p)}{l} \right] \quad (7)$$

där:

$z_{sat}$  grundvattenytans nivå  
 $a_r$  den vertikala tvärsnittsytan hos skiktet i förhållanden till den horisontella tvärsnittsyta som modellen representerar  
 $l$  det karakteristiska avstånd som används för att skatta den hydrauliska gradientens storlek



**Figur 3.** Den geometriska formen av grundvattenytan mellan två dräneringsrör som är grunden för antagandet om flödet som en sänkterm i modellen (Jansson, 1991).  $z_{sat}$  är grundvattenytans nivå och  $z_p$  är dräneringsrörets nivå.

**Figure 3.** The geometrical assumptions behind the ground water flow towards a sink point in the saturated zone of the soil (Jansson, 1991).  $z_{sat}$  is the depth of the groundwater table and  $z_p$  is the depth of the sink point.

Allt vatten infiltreras inte om marken är vattenmättad eller om infiltrationsförmågan av någon anledning är nedsatt. Det vatten som blir kvar på ytan bildar ett "magasin" eller "pool" (wpool). För beräkning av ytavrinningen  $q_{surf}$  används ekvationen enligt (Jansson, 1991):

$$q_{surf} = a_{surf} w_{pool} \quad (8)$$

där:  $a_{surf}$  är en empirisk konstant

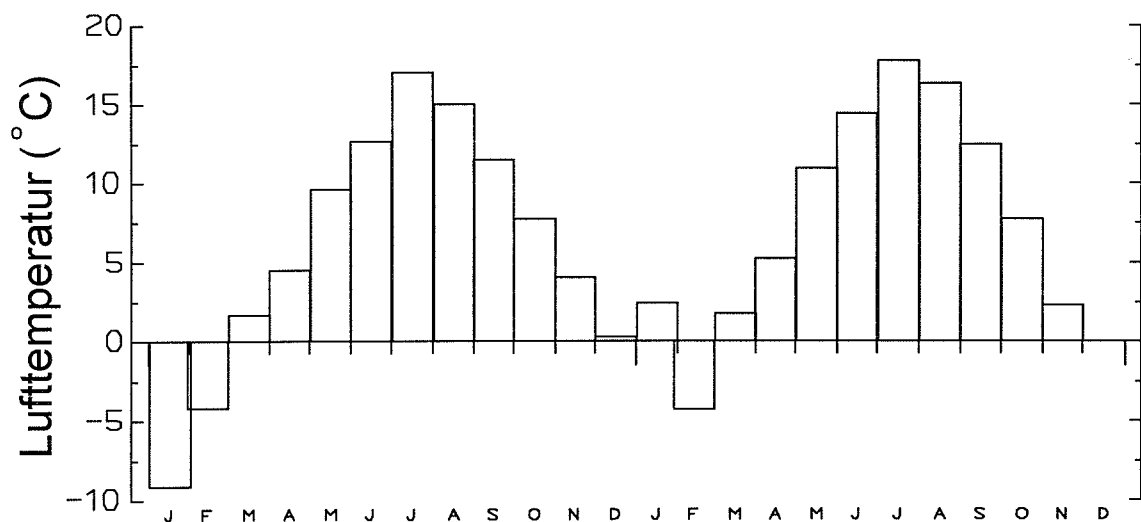
## KLIMATDATA

Atmosfären är den drivande faktorn i modellen som förekommer i form av klimatiska dygnsvärden. De drivande variablerna är temperatur, luftfuktighet, nederbörd, instrålning och vindhastighet. Klimatuppgifterna som används i samband med simuleringarna gäller perioden januari-december 1982 och 1983 (tabell 2). Lufttemperatur och luftfuktighet mättes direkt på försöksplatsen Björstorp. Nederbördsuppgifterna är hämtade från SMHI-stationen Pjätteryd, ca 5 km ifrån försöksområdet. Mätningar av globalstrålning och vindhastighet genomfördes på SMHI-stationen i Ljungby, ca 2 mil norr om försöksområdet. Simuleringarna har gjorts med klimatuppgifter i form av dygnsvärden.

**Tabell 2.** Årsmedelvärden av lufttemperatur, luftfuktighet, globalstrålning och vindhastighet samt årsnederbörd för Björstorp åren 1982 och 1983

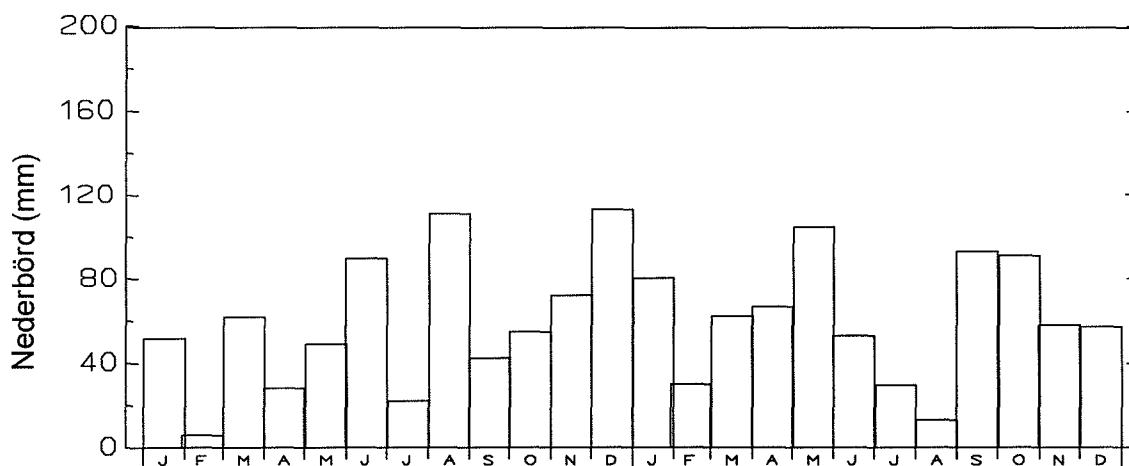
*Table 2. Yearly mean values of air temperature, air humidity, global radiation and wind speed together yearly precipitation at Björstorp the years 1982 and 1983*

År	Nederbörd <i>Precipitation</i> (mm)	Lufttemp. <i>Air temp.</i> (°C)	Luftfuktighet <i>Air humidity</i> (%)	Globalstrålning <i>Global radiation</i> (MJ/m <sup>2</sup> dygn)	Vindhastighet <i>Wind speed</i> (m/s)
1982	697	6,2	84,8	10,3	2,7
1983	739	8,0	80,5	9,8	3,2



**Figur 4.** Månadsmedelvärden för lufttemperatur (°C) vid försöksplatsen, Björstorp, under perioden 1982-1983.

*Figure 4. Monthly mean values of air temperature (°C) at the studied site, Björstorp, for the period 1982-1983.*



**Figur 5.** Månadsnederbörd (mm) för perioden 1982-1983 vid SMHI-station Pjätteryd.  
**Figure 5.** Monthly precipitation (mm) for the period 1982-1983 at Pjätteryd.

## PARAMETRISERING

Modellapplikationen är tagen från en tidigare studie av energiskog (Persson & Lindroth, 1994) (tabell 3). Vid föreliggande studie justeras parametrar som är relaterade till markegenskaper och grundvatten (tabell 4). Beståndsegenskaperna uppdelas i två fall, kraftigt respektive svagt bestånd (tabell 5).

**Tabell 3.** Parametervärden för energiskog i enlighet med Persson & Lindroth (1994).  
 Parameterbeteckningar i enlighet med Jansson (1994)

**Table 3.** Parameter values for an energy forest in accordance with Persson & Lindroth (1994).  
 Parameter names in accordance with Jansson (1994)

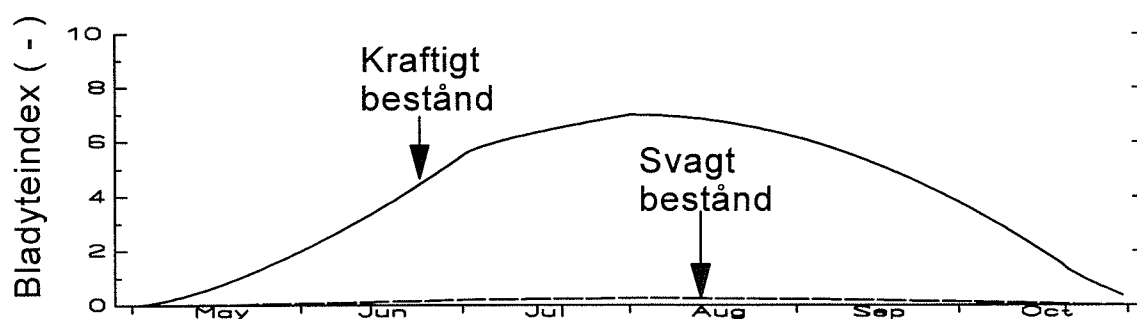
Parameter	Enhet	Värde	Innebörd
ALBEDO	%	20	Anger hur stor del av solstrålningen som reflekteras till atmosfären
INTRS	sm <sup>-1</sup>	5	Ytresistans för vatten som interceperat på bladytor
INTLAI	mmLAI <sup>-1</sup>	0.2	Specifik interceptionskapacitet hos bladytan
RALAI	sm <sup>-1</sup>	50	Anger hur mycket den aerodynamiska resistansen ökar per bladyteindex (LAI) vid beräkning av det extra bidraget i aerodynamisk resistans mellan markyta och bestånd
RNTLAI	-	0.5	Extinktionskoefficienten i det exponentiella strålningsavtagandet för nettostrålning i ett bestånd
CANDENSM	-	0.7	Maximal krontäthet i relation till höjd
CONDMAX	MS <sup>-1</sup>	0.015	Maximal konduktans för klyvöppningar
CONDRIS	Jm <sup>-2</sup> /dag	118.10 <sup>5</sup>	Intensitet på globalstrålning
CONDVPD	pa	1318	Ångtrycksdeficit
PADDIND	%	0.5	Växtyteindex exklusive bladyteindex

**Tabell 4.** Parametervärden för beräkning av grundvattenförhållanden och markavdunstning  
**Table 4.** Parameter values used when calculating ground water conditions and soil evaporation

Parameter	Enhet	Värde	Innebörd
PSIRS	s/m	300	Empirisk parameter som uttrycker hur ytresistansen beror av markytans fuktighet
IGWLEW	m	-0.2	Den initiala grundvattennivån
DDIST	m	100	Avstånd som bestämmer gradienten för flödet till dräneringsledning eller motsvarande
DDRAIN	m	-0.5	Djup där dräneringsledningar är lagda

**Tabell 5.** Beståndsegenskaper för kraftigt respektive svagt bestånd av energiskog  
**Table 5.** Characteristics for the two assumed short rotation stands

Parameter	Enhet	Värde		Värde	
		kraftigt bestånd	min	max	svagt bestånd
Bladyteindex (Leaf area index)	-	0	7	0	0.9
Medelbeståndshöjd (Mean stand height)	m	1.9	3	0.06	1.2
Rotdjup (Root depth)	m	-1.3	-1.3	-0.4	-0.4

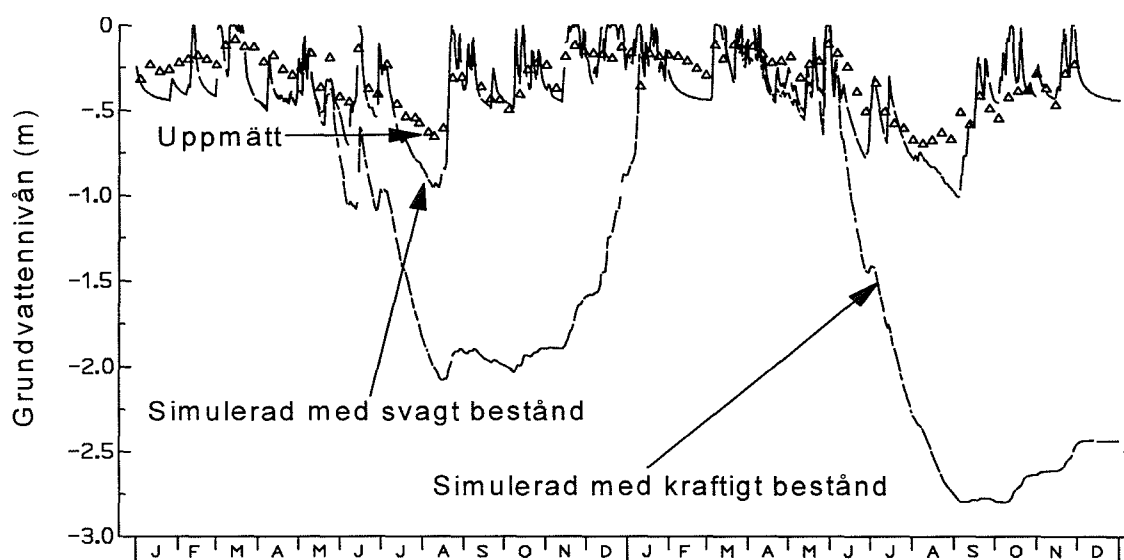


**Figur 6.** Antagen säsongsutveckling av bladyteindex för de två olika energiskogsbestånden.  
**Figure 6.** Assumed seasonal development of leaf area index for the two different short rotation stands.



## RESULTAT

Grundvattennivån är under vintertid ungefär densamma i både simuleringar och mätningar. Skillnaderna ligger främst under växtsäsongen. Det som orsakar skillnaderna är den kraftiga avdunstningen från det produktiva beståndet. Grundvattennivån börjar sjunka i början av växtsäsongen, men detta förändras i slutet av oktober när avdunstningen minskar och grundvattennivån stiger och når på nytt en nivå nära markytan. Även simuleringen med svagt bestånd visar lägre grundvattennivåer än mätningarna under växtsäsongerna. Detta tyder på att de antagna egenskaperna hos det svaga beståndet ger högre avdunstning än i verkligheten. Det bör dock påpekas att det rör sig om extremt ytliga grundvattenförhållanden. Simuleringen med det kraftiga beståndet visade en lägsta grundvattennivå på ca 2 m djup 1982 och ca 2.8 m djup 1983. Grundvattennivån är med det kraftiga beståndet lägre än 1 m under drygt halva året men med det svaga beståndet understiger aldrig grundvattennivån 1 m djup.

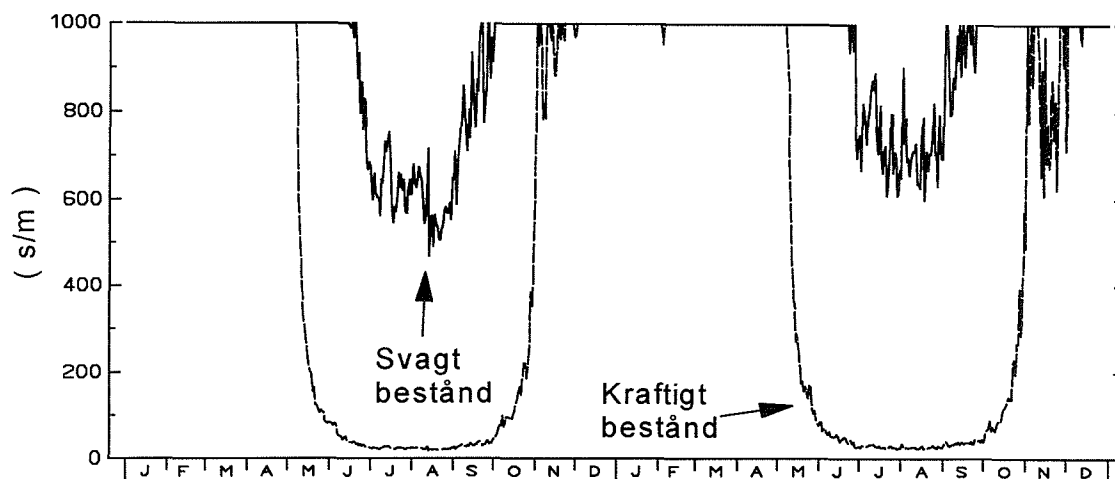


**Figur 7.** Simulerad (linje) och uppmätt (triangel) grundvattennivå för åren 1982 och 1983. Heldragen linje representerar svagt bestånd och streckad kraftigt bestånd.

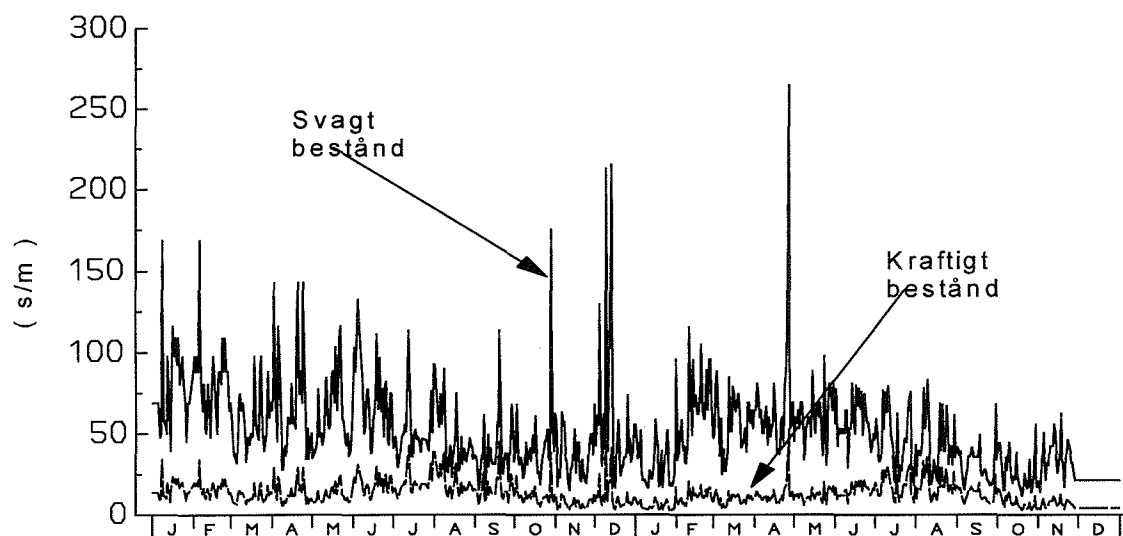
**Figure 7.** Simulated (line) and measured (triangle) ground water level in 1982 and 1983. Unbroken line represents the weak stand and broken line the established stand.

Ytresistansen i simuleringen med det kraftiga beståndet var 20-30 s/m under växtsäsongen (figur 8). Detta kan jämföras med det svaga beståndet som uppvisar en ytresistans på 600-700 s/m under växtsäsongen. När ytresistansen minskar ökar transpirationen. Detta bidrog till att den totala avdunstningen var större i simuleringen med kraftigt bestånd jämfört med simuleringen med svagt bestånd.

Den aerodynamiska resistansen för transpiration och evaporation beror på vindhastigheten och ytans skrovlighet. Det kraftiga beståndet uppvisar en lägre aerodynamisk resistans till följd av en högre skrovlighet (figur 9).



**Figure 8.** Simulerad ytresistans för svagt respektive kraftigt bestånd åren 1982 och 1983.  
*Figure 8. Simulated surface resistance for the two assumed stands in 1982 and 1983.*



**Figure 9.** Simulerad aerodynamisk resistans för svagt respektive kraftigt bestånd åren 1982 och 1983.  
*Figure 9. Simulated aerodynamic resistance for the two assumed stands in 1982 and 1983.*

### Vattenbalansberäkning

Vattenbalansen för ett system bestående av atmosfär, växt och mark regleras av en tillförsel genom nederbörd samt borttransport via avdunstning och avrinning. Vattenbalansen för ett område kan beräknas enligt:

$$ET = P - R - S \quad (9)$$

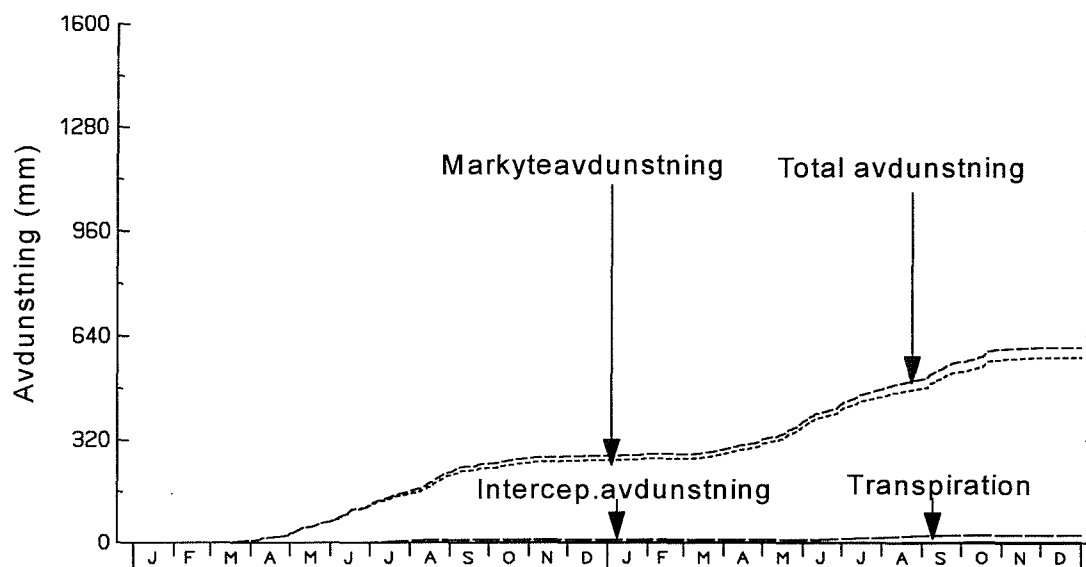
Beteckningarna står för, den totala avdunstningen (ET), nederbörden (P), den totala avrinningen (R) och magasinförändringen (S).

**Tabell 6.** Vattenbalans (alla värden angivna i mm) under växtperioden (maj - oktober). R = avrinning, ET= total avdunstning, P= nederbörd och S= magasinförändring  
**Table 6.** Water balance (all values in mm) regarding the growing season (May-October). R= runoff, ET= total evaporation, P= precipitation and S= change in storage

År	R	ET	P	S
1982 (mätn)	99	267	366	0
1982 (svagt best)	161	243	366	0
1982 (kraftigt best)	12	596	366	-242
1983 (mätn)	284	100	384	0
1983 (svagt best)	133	278	384	-27
1983 (kraftigt best)	47	776	384	-439

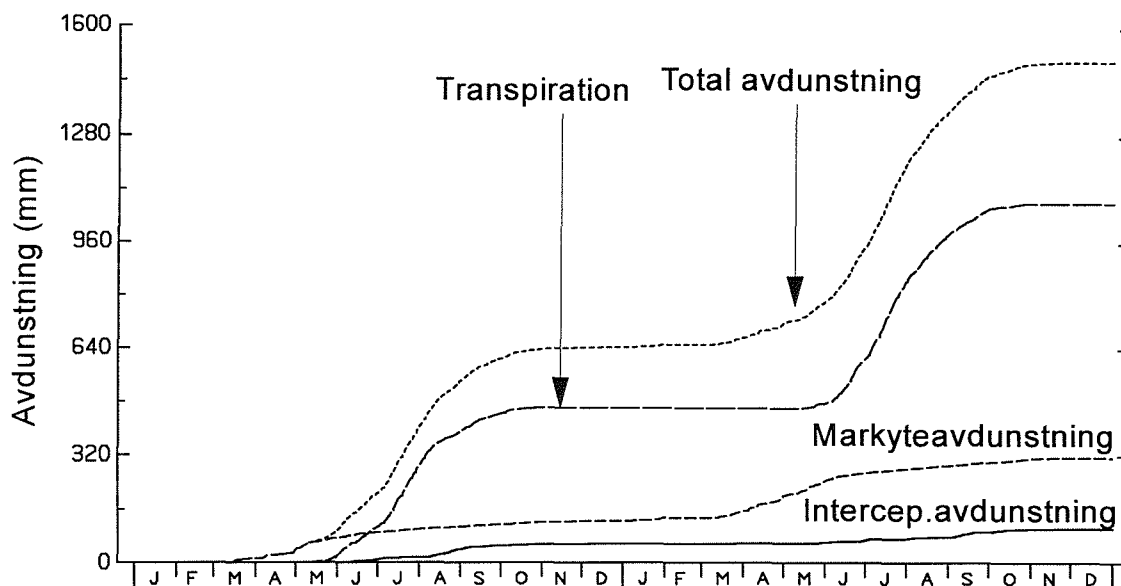
Eftersom grundvattennivån ligger på nästan samma nivå i början respektive slutet av växtsäsongen kan det antas att förändringen av magasinet är liten d.v.s. ligger nära noll. Både den totala avdunstningen och den totala avrinningen skiljer sig mycket mellan de båda simuleringarna (med svagt respektive kraftigt bestånd). Skillnaderna beror naturligtvis på skilda beståndsegenskaper. Skillnaden mellan markyteavdunstning, transpiration och interceptionsavdunstning är stor. Den totala avdunstningen är störst i simuleringen med kraftigt bestånd mest beroende på den höga transpirationshastigheten.

När transpirationen ökar minskar både ytavrinning och avrinning via grundvatten. Därmed blir den totala avrinningen i simuleringen med kraftigt bestånd mindre än i simuleringen med svagt bestånd (figur 10-13).



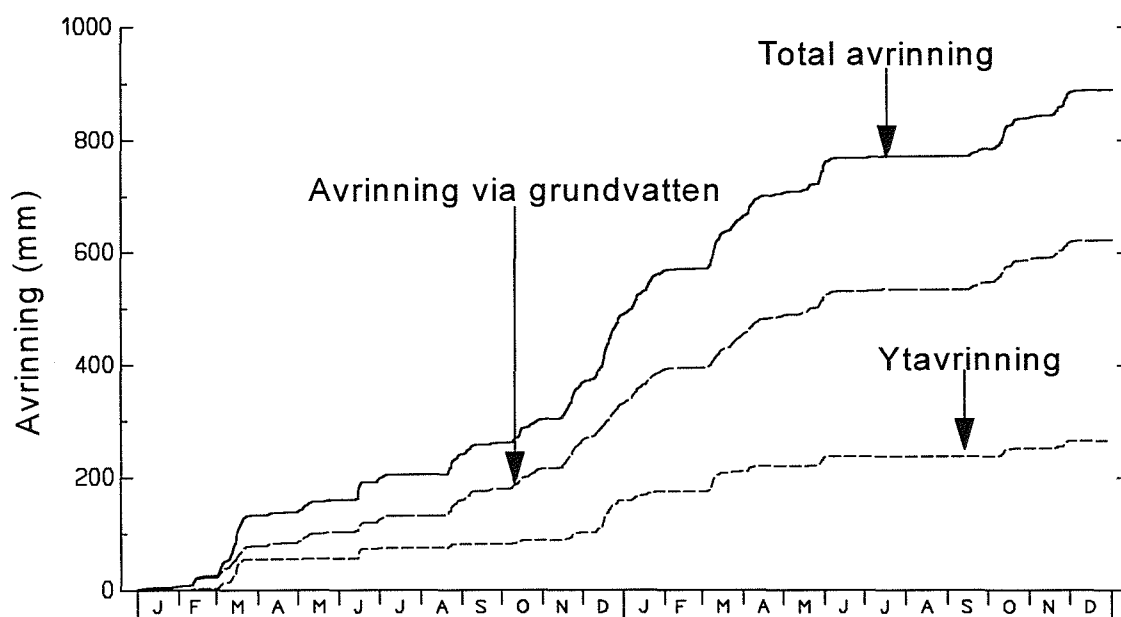
**Figur 10.** Ackumulerad mängd av total avdunstning, transpiration, avdunstning från markytan och från interceperat vatten åren 1982-1983 med svagt bestånd (simulerade värden).

**Figure 10.** Accumulated total evaporation, transpiration, soil evaporation and interception evaporation 1982-1983 with the weak stand (simulated values).



**Figur 11.** Ackumulerad mängd av total avdunstning, transpiration, avdunstning från markytan och från interceperat vatten åren 1982-1983 med kraftigt bestånd (simulerade värden).

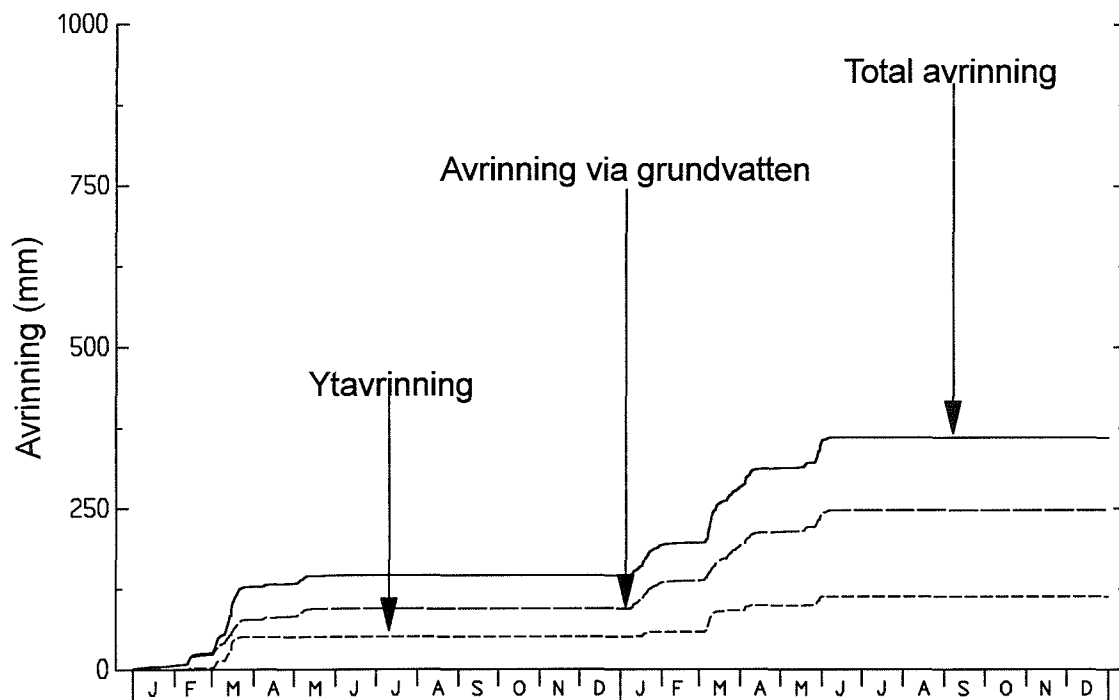
*Figure 11. Accumulated total evaporation, transpiration, soil evaporation and interception evaporation 1982-1983 with the established stand (simulated values).*



**Figur 12.** Ackumulerad mängd av total avrinning, avrinning via grundvatten och ytavrinning under åren 1982-1983 med svagt bestånd (simulerade värden).

*Figure 12. Accumulated total runoff, groundwater runoff and surface runoff 1982-1983 with the weak stand (simulated values).*



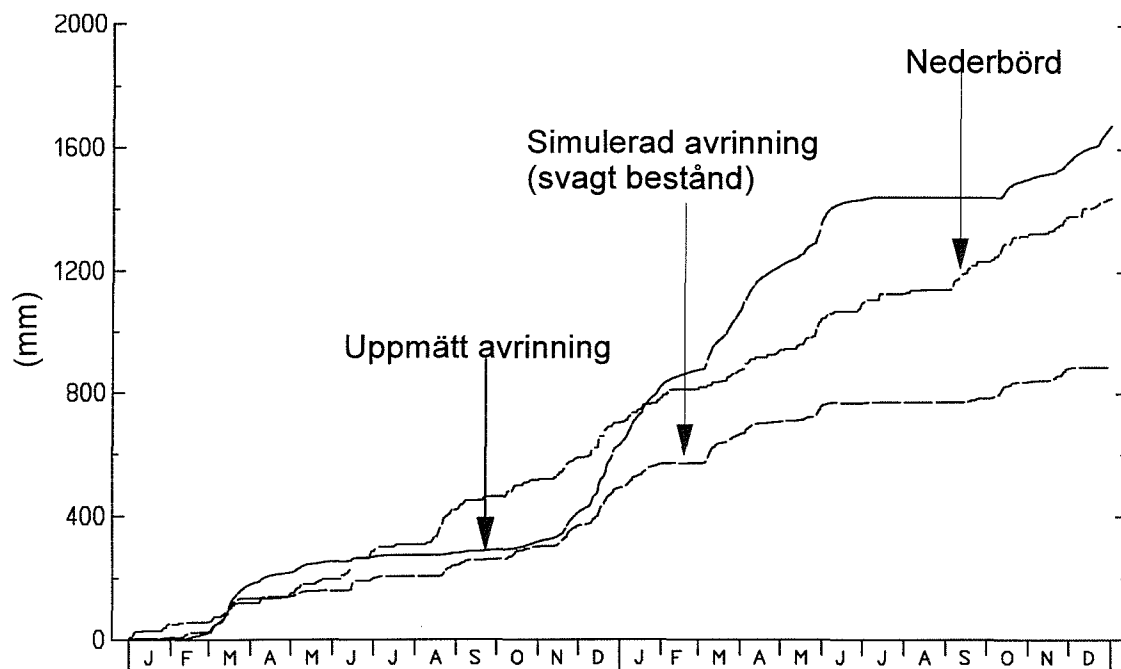


**Figur 13.** Ackumulerad mängd av total avrinning, avrinning via grundvatten och ytavrinning under åren 1982-1983 med kraftigt bestånd (simulerade värden).

**Figure 13.** Accumulated total runoff, groundwater runoff and surface runoff 1982-1983 with the established stand (simulated values).

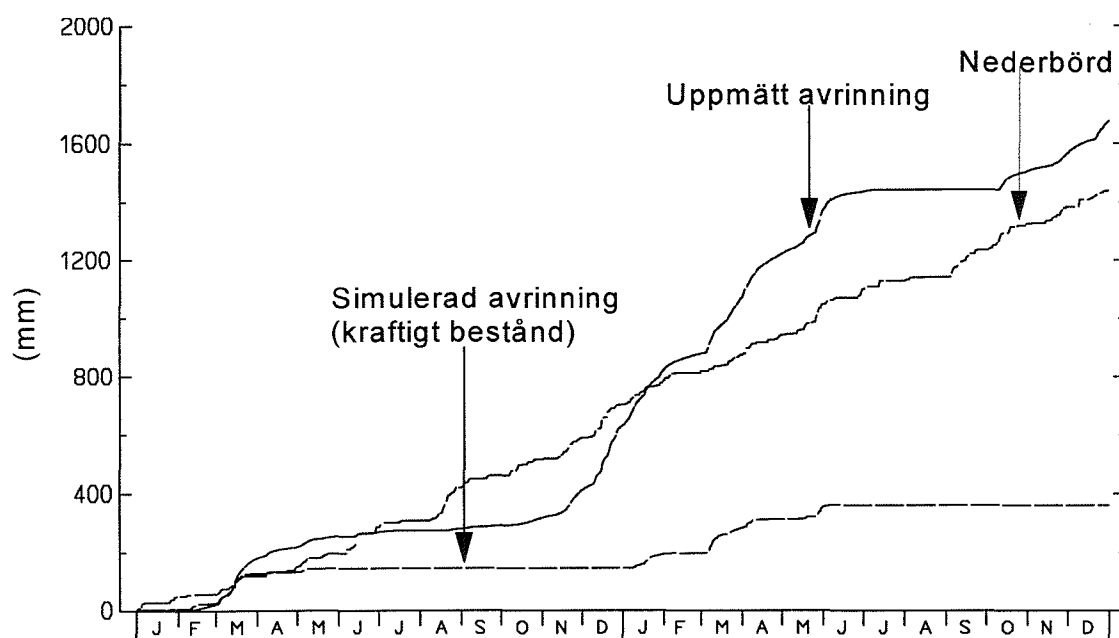
Vad gäller avrinningen under året 1982 har en god överensstämmelse erhållits mellan simulerade värden med svagt bestånd och uppmätta värden. Under året 1983 visar sig dock skillnaden vara ganska stor (figur 14). Värdena på båda simuleringarna gällande året 1983 visar en mindre avrinning än den uppmätta. Den stora variationen ligger under perioden som befinner sig mellan december 1982 och maj 1983 (figur 14-15). Det som orsakar denna skillnad är antingen fel på nederbördsvärden i simuleringarna eller mät- alternativt kalibreringsfel i samband med avrinningsbestämningen. Eftersom felet uppstår under vintertid, då avdunstningen är mycket låg, torde ej felet bero på beståndsegenskaperna.

Den sammanlagda nederbörden från åren 1982-1983 beräknas till 1436 mm och det är ett gemensamt värde både för observerade respektive simulerade mätningar. Den totala uppmätta avrinningen under samma period är 1672 mm, dvs. överstiger nederbörden! Detta resultat förstärker ytterligare teorien om de systematiska felen. Den simulerade avrinningen med svagt bestånd är 886 mm och med kraftigt bestånd 359 mm. Detta betyder att grödan under växtsäsongen tar upp vattnet och därmed reduceras avrinningen.



**Figur 14.** Ackumulerad uppmätt nederbörd och avrinning 1982 och 1983 tillsammans med simulerad avrinning med svagt bestånd.

*Figure 14. Accumulated measured precipitation and total runoff 1982 and 1983 together with simulated total runoff with the weak stand.*

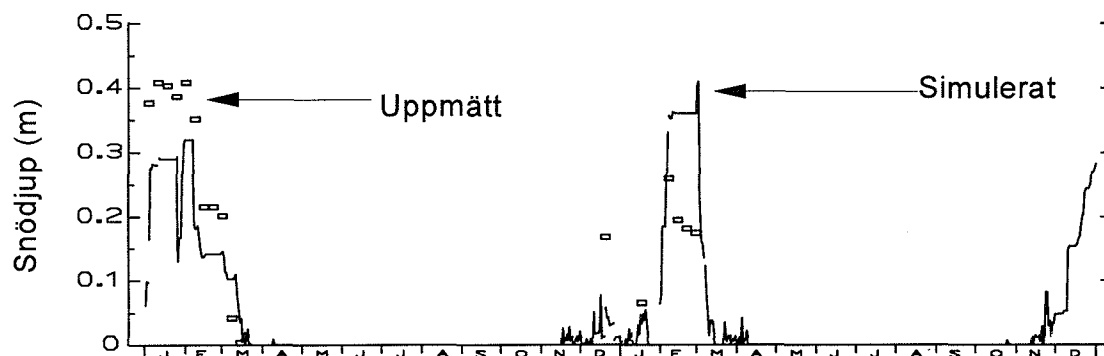


**Figur 15.** Ackumulerad uppmätt nederbörd och avrinning 1982 och 1983 tillsammans med simulerad avrinning med kraftigt bestånd.

*Figure 15. Accumulated measured precipitation and total runoff 1982 and 1983 together with simulated total runoff with the established stand.*

## Snödjup

Snödjupet ökar under vintern. Jämförelsen mellan de uppmätta respektive simulerade värdena gällande snödjupet visar att skillnaderna är små och det är bara centimetrar som skiljer. Att snödjupet underskattas 1982 beror på att simuleringen startar 1 januari utan snötäcke.

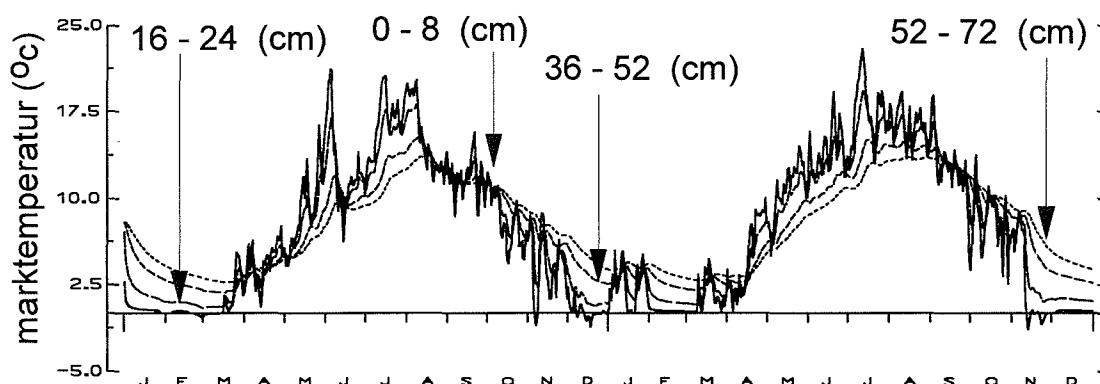


**Figur 16.** Snödjup under åren 1982-1983. Simulerat (linje) och uppmätt (rektangel).

*Figure 16.* Snow depth 1982-1983. Simulated (line) and measured (rectangle).

## Marktemperatur

Marktemperaturen sjunker naturligtvis under vintern och stiger i samband med en ökning av lufttemperaturen (figur 17).



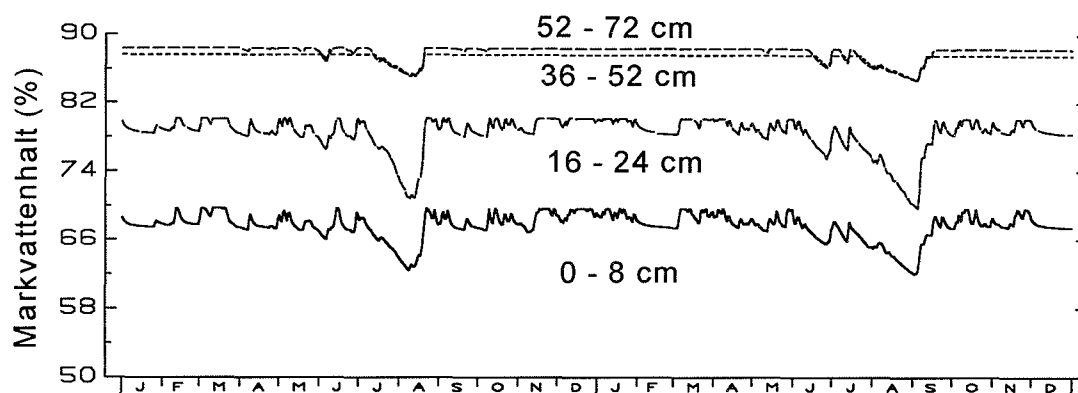
**Figur 17.** Marktemperatur åren 1982 och 1983 i skikten 0-8 cm, 16-24 cm, 36-52 cm och 52-72 cm.

*Figure 17.* Soil temperature during 1982 and 1983 at the depths 0-8 cm, 16-24 cm, 36-52 cm and 52-72 cm.

## Markvattenhalt

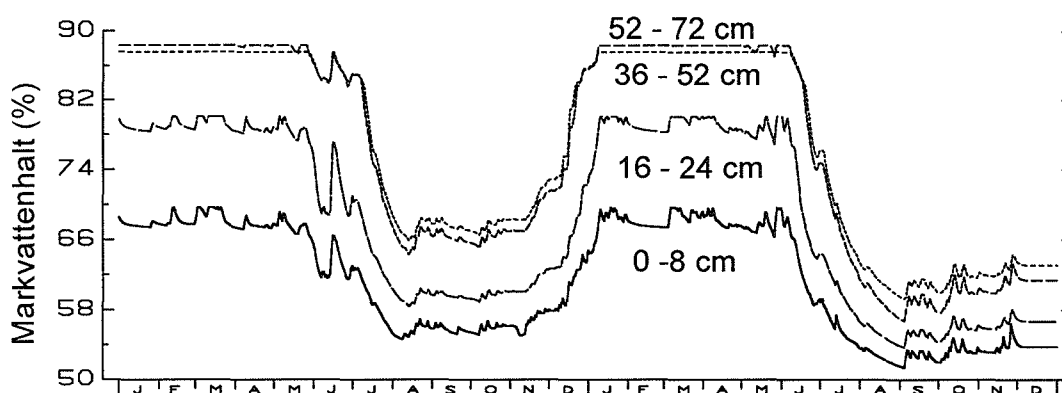
Markvattenhalten ligger på samma nivå under vintern i de båda simuleringarna, med svagt respektive kraftigt bestånd, men stora skillnader uppkommer under vegetationsperioden och dessa skillnader finns ibland kvar under lång tid på hösten och tidig vinter.

Vattenhalten sjönk ca 15-25 procent i simuleringen med kraftigt bestånd under växtsäsongen från första skiktet (0-8 cm) till fjärde skiktet (52-72 cm). Däremot varierade vattenhalten i simuleringen med svagt bestånd ca 10 procent från första skikten (0-8 cm) till fjärde skikten (52-72 cm) (figur 18-19).



**Figur 18.** Markvattenhalt (vol%) åren 1982-1983 i skikten 0-8 cm, 16-24 cm, 36-52 cm och 52-72 cm. Med svagt bestånd.

*Figure 18. Soil water content (vol%) 1982-1983 in layers 0-8 cm, 16-24 cm, 36-52 cm and 52-72 cm. With the weak stand.*



**Figur 19.** Markvattenhalt (vol %) åren 1982-83 i skikten 0-8 cm, 16-24 cm, 36-52 cm och 52-72 cm. Med kraftigt bestånd.

*Figure 19. Soil water content (vol%) 1982-1983 in layers 0-8 cm, 16-24 cm, 36-52 cm and 52-72 cm. With the established stand.*

## DISKUSSION

Effekten av en produktiv energiskog på torvmark kunde åskådliggöras genom simuleringar. Antaganden om beståndsegenskaper kunde göras från en tidigare undersökning utförd på en bördig jordbruksmark. De uppmätta och simulerade grundvattennivåerna för det svaga beståndet överensstämmer relativt bra för de två studerade åren. Den simulerade avrinningen 1982 stämmer relativt väl med mätdata men 1983 års simulering påvisar orealistiska mätresultat vad gäller total avrinning. Orsaken är med stor sannolikhet osäkerheter vad gäller avrinningsområdets avgränsningar. Man måste dock hålla i minnet att även mätdata är



behäftade med fel och det är inte alltid lätt att mäta vattenflödet med hundra procent noggrannhet över en hel växtsäsong eller i detta fall i två år. Eftersom åren 1982 och 1983 skiljer sig lite vad gäller nederbörd och medeltemperatur kan man med största sannolikhet försöka fånga in felet och därmed undviks denna orealistiska effekt. Eftersom det bara finns uppmätta data för vattenflöde, klimatdata och grundvattennivå så är det svårt att visa hur realistiska andra simulerade storheter är t.ex marktemperatur, markvattenhalt och tjäldjup. För att förbättra säkerheten är det viktigt att studera flera processer och variabler.

## SAMMANFATTNING

Syftet med denna uppsats var att beskriva vattenbalansförändringen i samband med etablering av energiskog på torvmark. Arbetet bygger på material från studier inom en tidigare undersökning rörande energiskog i projektet "Hydrologiska konsekvenser av energiskogsodling". En fuktig torvmark, belägen i Kronobergs län, varifrån mätningar av avrinning och grundvattenstånd fanns tillgängliga har analyserats. I realiteten uppkom stora svårigheter vid etableringen av energiskogen och endast ett svagt bestånd utvecklades. För att visa hur vattenbalansen kan förändras vid introduktion av en högproduktiv energiskog på torvmark har den matematiska modellen SOIL använts. Med hjälp av modellen simulerades dels ett svagt bestånd och dels ett högproduktivt bestånd. Simuleringarna utfördes för perioden 1982-1983 och vattenbalansförhållandena jämfördes, särskilt under vegetationsperioden.

Den simulerade avdunstningen under de två åren var ca 900 mm högre för det högproduktiva beståndet än för det svaga beståndet. Detta berodde framförallt på den ökade bladytan. Med ett högproduktivt bestånd ökar främst transpirationshastigheten men även interceptionsmagasinet ökar. Markavdunstningen minskar dock i jämförelse med ett svagt bestånd som ej sluter kronverket. Den simulerade markavdunstningen under de två åren var ca 600 mm för det svaga beståndet och ca 320 mm för det kraftiga beståndet. Interceptionsavdunstningen var ca 30-40 mm för det svaga respektive 110-120 mm för det kraftiga beståndet under en tvåårsperiod.

Den simulerade avrinningen 1982 för det svaga beståndet överensstämmer tillfredställande med mätningarna. Däremot skiljer sig 1983 års simulering betydligt i fråga om avrinningen. Orsaken är med stor sannolikhet osäkerheter vad gäller avrinningsområdets avgränsningar. Simuleringsresultaten visade stora skillnader mellan bestånden vad gäller markvattenhalter och grundvattenstånd. Simuleringen med det kraftiga beståndet visade en lägsta grundvattennivå ca 1-2 m lägre än det svaga beståndets. Markvattenhalten sjunker mer i simuleringen med kraftigt bestånd under vegetationsperioden till följd av den ökade avdunstningen.

## SUMMARY

The aim of this report was to describe the possible changes in water balance after establishment of a short rotation forest on a peatland. This study is based on earlier investigations of short rotation forests within the project "Hydrological consequences of short rotation forestry".

A humid peatland, located in the county of Kronoberg, where measurements of runoff and groundwater levels were already available, was selected for this project. In reality important difficulties occurred during the establishment of the short rotation forest on the site and only a weak stand developed. The mathematical model SOIL, was used in order to calculate how the water balance is affected by the introduction of a highly productive short rotation forest on peatland. The model was used to make simulations of water balance for the weak stand and for a well established stand. Simulations were carried out for the period 1982-1983 and the water balance situations were compared for the growing seasons.

The simulation of evapotranspiration for two years was about 900 mm higher for the high productive stand than for the weak stand. The main reason was the higher leaf area of the productive stand, which implies a higher transpiration rate and also a higher interception storage. The simulated soil evaporation over two years was about 600 mm for the weak stand and 320 mm for the highly productive stand. The simulated interception evaporation was about 30-40 mm for the weak stand and 110-120 mm for the highly productive stand. The results from the 1982 simulation of total runoff for the weak stand corresponds well with the measurements. The 1983 simulation on the other hand, differ considerably regarding total runoff. The reason is probably an uncertain delimitation of the catchment area.

The lowest simulated groundwater level of the highly productive stand was in 1982 2 m and in 1983 2.8 m. The groundwater level was lower than 1 m for more than half of the year for the highly productive stand while for the weak stand it was never lower than 1 m. The water content decreased about 15-25 percent from the layer 0-8 cm to layer 52-72 cm in the simulation with the highly productive stand during the growing season. The weak stand simulation showed variations of water content, at the same levels, of about 10 percent.

## REFERENSER

- Brown, R.J.E. & Williams, G.P. 1972. The freezing of peatland. Building Research, National Research Council of Canada, Technical paper 381. NRCC 12281. 29 s.
- Grip, H. 1980. Hydrologiska förutsättningar för energiskogsodling analyserad för två områden. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. Institutionen för ekologi och miljövård. ESO, teknisk rapport 4. 21 s.
- Grip, H. & Persson, G. 1982. Hydrologiska konsekvenser av energiskogsodling i Kronobergs län. Förundersökningsrapport. SNV PM 1620. 40 s.
- Gesslein, S. 1990. Vad ska vi göra med Sveriges jordbruksmark?. Kungl. skogs- och lantbruksakademin. Stockholm. Rapport nr 46. 140 s.
- Jansson, P.-E. 1991. Simulation model for soil water and heat conditions. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. Institutionen för markvetenskap, Avd. för lantbrukets hydroteknik. Rapport 165. 72 s.
- Jansson, P.-E. 1994. SOIL model. User's manual 3rd edition. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. Institutionen för markvetenskap. Avd. för lantbrukets hydroteknik. Avdelningsmeddelande 94:3. 66 s.
- Kumm, K.-I. 1989. Skog på jordbruksmark. Jordbrukstekniska institutet, Uppsala JTI-rapport 105. 66 s.
- Moore, T.R. 1987. Thermal regime of peatlands in subarctic eastern Canada. Canadian Journal of Earth Science 24, 1352-1359.
- Mattson, R. 1985. Jordbrukets utveckling i Sverige. Aktuellt från lantbruksuniversitetet 344. Uppsala. 46 s.
- Monteith, J.L. 1965. Evaporation and environment. In: Fogg, G.E. (ed. ), The state and movement of water in living organisms, 19th Symp. Soc. Exp. Biol. Cambridge: The Company of Biologists. 205-234.
- Pavlova, K.K. 1970. Phase composition of water and thermophysical characteristics of frozen peat in the study of infiltration. Soviet Hydrology. Selected papers 4, 360-377.
- Persson, G. 1985. Markfysikaliska undersökningar på några organogena jordar i Kronobergs län. SNV rapport 3057. 48 s.
- Persson, G. 1992. Hydrologiska konsekvenser av energiskogsodling. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för lantbrukets hydroteknik. Rapport 166. 17 s.
- Persson, G. & Lindroth, A. 1994. Simulating evaporation from short-rotation forest: variations within and between seasons. Journal of Hydrology 156, 21-45.
- Widén, & Ingemansson, J. 1986. Åtgärder för att minska spannmålsöverskottet. Rapport 2 från spannmålsgruppen. Ds Jo 1986:6. Jordbruksdepartementet. Stockholm. 115 s.



Förteckning över utgivna häften i publikationsserien

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET, UPPSALA. INSTITUTIONEN FÖR MARKVETENSKAP.  
AVDELNINGEN FÖR LANTBRUKETS HYDROTEKNIK. AVDELNINGSMEDDELANDE. Fr o m 1993

- 93:1 Jansson, C. Rekonstruktion av naturlig vattenförling i Österdalälven och värdering av regleringsnytta. 30 s + 5 bil.
- 93:2 Linnér, H., Persson, R., Berglund, K. & Karlsson, S.-E. Resultat av 1992 års fältförsök avseende detaljavvattning, markvård och markförbättring samt bevattning. 83 s.
- 93:3 Joel, A. & Wesström, I. Vattenhushållning vid bevattning - en studie av tillämpad bevattningsteknik i Sidi Bouzid-distriktet, Tunisien. 54 s.
- 93:4 Jansson, P-E. SOIL model. User's Manual. Second edition. 65 s.
- 93:5 Danfors, B. & Linnér, H. Resursbevarande odling med marktäckning och grund inbrukning av växtmaterial. 86 s.
- 93:6 Jansson, P-E. PLOTPF. User's manual. 33 s.
- 93:7 Båth, A. Studier av rotutveckling och markvattenhalt i försök med marktäckning. 71 s.
- 94:1 Tabell, L. Tjåle i torvjord. 46 s
- 94:2 Halldorf, S. Runoff water as a soil forming factor in arid zones. 62 s.
- 94:3 Jansson, P-E. SOIL model. User's Manual. Third edition. 66 s.
- 94:4 Eckersten, H., Jansson, P-E. & Johnsson, H. SOILN model. User's manual. Second edition. 58 s.
- 94:5 Persson, R. (ed.). Proceedings, NJF-seminar no 247, Agrohydrology and nutrient balances, October 18-20, 1994, Uppsala, Sweden. 111 s.
- 95:1 Alavi, G. Radial stem growth and transpiration of Norway spruce in relation to soil water availability. Granens tillväxt och transpiration i relation till markvattnets tillgänglighet (Licenciatavhandling). 13 + 11 + 14 s.
- 95:2 Johansson, W. & Fellin, O. Biogas från vall. Teknik och ekonomi vid odling, skörd, transporter, ensilering samt rötning med tvåstegsteknik. 38 s.
- 95:3 Svensson, E., Linnér, H. & Carlsson, H. Utvärdering av växtanalys i fabrikspotatis. 53 s.
- 95:4 Andersson, A. Vattentillgångar för bevattning i Kalmar län. I. Litteraturoversikt. II. Intervjuundersökning rörande vattenmagasin. 48 s.
- 95:5 Wesström, I. Bestämning av markens salthalt genom mätning med konduktivitetssond. 18 s.
- 95:6 Eckersten, H., Jansson, P-E., Karlsson, S., Persson, B., Perttu, K. & Andersson, J. En introduktion till biogeofysik. 72 s.
- 95:7 Eckersten, H. Simulation of water flow in plant communities. SPAC model description, exercises and user's manual. 49 s.
- 95:8 Nabieian, F. Simulering av vattenbalans för energiskog på en torvmark. 25 s.